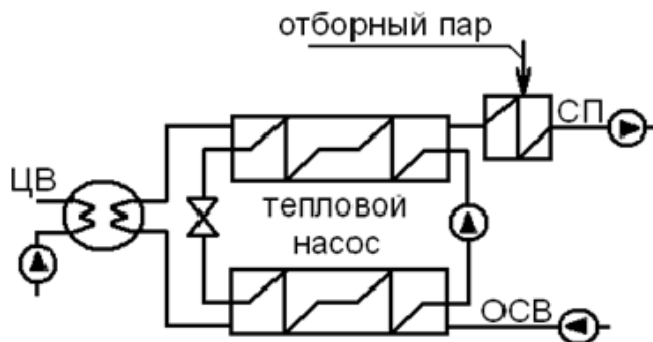
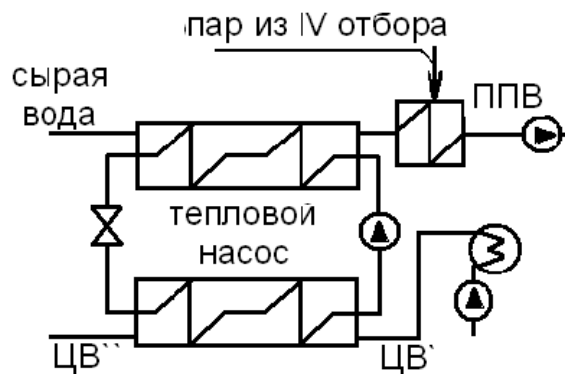


2. Сетевая вода нагревается паром в конденсаторе турбины, а тепловой насос охлаждает сетевую воду до конденсатора, передавая теплоту сетевой воде после конденсатора.



3. Тепловым насосом нагреваем сырую воду перед подогревателем подпиточной воды, охлаждая циркуляционную воду после конденсаторов.

Для расходов циркуляционной воды от 55 до 80 млн т/месяц произведен расчет $K_{эфф}$ (коэффициент эффективности обращенного цикла Карно) для всех 3-х рассматриваемых вариантов. Расчеты показали, что величина ΔN становится положительной ориентировочно при $K_{эфф} > 6$. Это условие было принято за критерий для отбора приемлемых вариантов.



Расчеты показали, что для теплового насоса мощностью от 2 до 70 МВт, подключенного по схеме варианта 3, ΔN положительна 12 месяцев в году. При варианте 1 ΔN положительна при мощности теплового насоса около 2 МВт и только в летний период (с мая по август). При подключении теплового насоса по 2-му варианту процесс всегда не выгоден, так как требует затрат электроэнергии.

РАСШИРЕНИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИНХРОННОГО РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Казакбаев В.М., Дмитриевский В.А., Прахт В.А., Климарев В.А., Сафин Н.Р.
УрФУ, E-mail: emf2010@mail.ru

Проблема повышения энергоэффективности в настоящее время является для российской экономики одной из самых актуальных. Энергоемкость российской экономики превышает более чем в два раза уровень Канады, обладающей схожим климатом, и – в 2,5-3,5 уровень, достигнутый в развитых странах [1]. В европейских странах в настоящее время успешно применяется ряд мер, способствующих значительному снижению энергопотребления. Одной из таких мер является разработка МЭК стандартов энергоэффективности (например, IEC 60034-30, вводящий классы энергоэффективности асинхронных двигателей: IE1 (standard), IE2 (high), IE3 (premium)) и ввод в эксплуатацию промышленного оборудования, отвечающего этим стандартам. Для преодоления проблемы низкой энергоэффективности российская промышленность также должна находиться в русле этих тенденций.

Учитывая, что электродвигатели составляют значительную часть электропотребления в промышленности, создание отечественных серийных энергоэффективных двигателей становится одной из высокоприоритетных задач. Асинхронный двигатель (АД) был и остается основой большинства промышленных электроприводов (ЭП). В настоящее время конструкция АД доведена до совершенства: оптимизированы обмоточные данные, изоляционные материалы, источники питания [3]. Таким образом, оставаясь приемлемыми по стоимости, АД могут соответствовать лишь классу эффективности IE2. Дальнейшее увеличение КПД АД для достижения класса IE3 требует использования таких мер, как увеличение сечения провода обмотки статора, применение медной клетки ротора, применение стали магнитопровода с низкими потерями, удлинение машины, усложнение технологии производства. Все это ведет к чрезмерному удорожанию, особенно для машин с высотами оси вращения до 180 мм [2].

Альтернативой является применение двигателей, конструкции которых принципиально обеспечивают более высокие энергетические характеристики: различных типов синхронных двигателей с постоянными магнитами (ПМ), вентильно-индукторных двигателей и синхронных реактивных двигателей. Машины с постоянными магнитами (ПМ) на основе редкоземельных элементов обладают, как правило, наилучшими энергетическими и массогабаритными показателями. Однако они также обладают высокой стоимостью, связанной со стоимостью редкоземельных металлов [4]. Кроме того, машинам с ПМ присущи проблемы надежности и долговечности, связанные с возможностью размагничивания и механического повреждения относительно хрупких ПМ. Также при использовании ПМ имеются трудности с регулированием возбуждения, созданием взрывозащищенных исполнений и сложности в эксплуатации. Вентильно-индукторные машины не имеют постоянных магнитов, но требуют сложных алгоритмов управления и обладают значительными пульсациями момента.

В то же время с 60-х гг. XX века шло постоянное совершенствование классического синхронного реактивного двигателя (СРД) [5], ротор которого удерживается в точном синхронизме с полем индуктора (рис. 1а). Как известно, выражение для электромагнитного момента синхронной реактивной машины имеет вид [5]:

$$T_e = \frac{m}{2} \cdot p \left[\left(1 - \frac{L_q}{L_d} \right) L_d \cdot i_d \cdot i_q \right], \quad (1)$$

где m – число фаз машины, p – число пар полюсов машины,

L_d, L_q – индуктивности статора по осям d и q , i_d, i_q – токи статора по осям d и q .

Из (1) видно, что оптимальная конструкция ротора должна обеспечивать максимальное значение произведения $(1 - L_q/L_d) \cdot L_d$. Поскольку количественные значения индуктивностей могут существенно различаться в зависимости от мощности машины, то для оценки свойств ротора по созданию реактивного момента вводят относительные величины [6]:

$$k_d = \frac{L_d}{L_m}, k_q = \frac{L_q}{L_m}, k_{dq} = \left(1 - \frac{L_q}{L_d} \right) \quad (2)$$

где L_m – индуктивность обмотки статора машины в случае изотропного цилиндрического ротора. Тогда критерий оптимальности формы ротора можно запи-

сать как $k_{dq} \cdot k_d$. Традиционные конструкции (рис. 2а) обеспечивают относительно невысокие значения этого произведения. Так, для явнополюсного ротора, описанного в [8], $k_{dq} = 0,305$, $k_d = 0,87$ и $k_{dq} \cdot k_d = 0,6$. Такие двигатели значительно уступают асинхронным в отношении КПД и $\cos \varphi$. К настоящему времени разработаны конструкции СРД значительно лучшие по свойствам. Так, для двигателя с радиально шихтованным ротором, описанного в [7], $k_{dq} = 0,937$, $k_d = 0,97$ и $k_{dq} \cdot k_d = 0,91$. Однако конструкции с радиальной шихтовкой ротора (рис. 2б) крайне нетехнологичны и дороги в производстве.

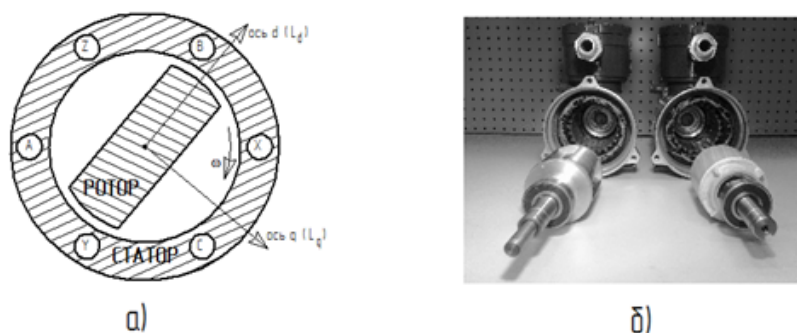


Рис. 1. а – устройство синхронного реактивного двигателя; б – серийный АД (справа) и опытный прототип СРД (слева), имеющие одинаковые статоры

Более приемлемой для крупносерийной машины является конструкция с магнитными барьерами (рис. 2в), которая собирается обычным способом набора пакета стальных листов на вал. В этом случае магнитная анизотропия ротора обеспечивается при штамповке листов созданием воздушных каналов, которые одновременно служат для вентиляции машины. Такая конструкция обладает несколько большей проводимостью по поперечной оси за счет наличия магнитных мостов и может обеспечивать несколько меньшие k_{dq} , чем конструкция (рис. 2б). Однако, СРД с таким ротором все равно способны достигнуть энергетических и массогабаритных характеристик, значительно превосходящих характеристики современных АД, отвечая при этом классу энергоэффективности IE3 [6].

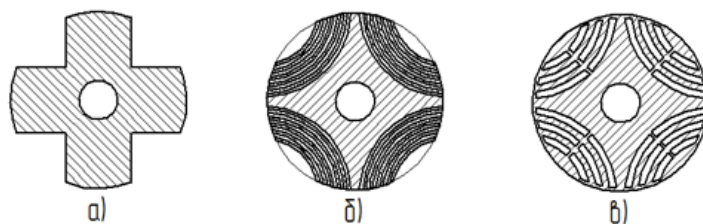


Рис. 2. Конструкции ротора СРД; а – традиционный явнополюсный, б – с радиальной шихтовкой, в – с магнитными барьерами

На кафедре ЭЭТС Уральского энергетического института УрФУ, совместно с ОАО «Сарапульский электрогенераторный завод», с апреля 2012 года ведется разработка и проектирование нового серийного синхронного реактивного двигателя. На Сарапульском электрогенераторном заводе был изготовлен прототип двигателя мощностью 0,5 кВт (рис. 1б).

В настоящее время осуществляется разработка и настройка системы управления СРМ, а также подготовка испытательного стенда для изучения машины в широком диапазоне статических и динамических режимов работы. В дальнейшем планируется продолжение опытно-конструкторских работ по совершенствованию СРМ для достижения высоких массогабаритных и энергетических показателей.

Библиографический список

1. Точки роста энергоэффективности и энергосбережения в России: Информационно-аналитический бюллетень № 3 / Ф.Ф. Глисин, А.С. Ильин, В.В. Прохоров. М.: Центр исследований и статистики науки (ЦИСН), 2012.
2. Международная научно-техническая конференция «Состояние и перспективы развития электротехнологии» (XVI Бенардосовские чтения), Кобелев А.С., Макаров Л.Н. Выбор внешнего диаметра сердечника статора для энергоэффективных асинхронных двигателей: сб. материалов. Иваново, 2011. 66-70 с.
3. Григорьев М.А. Предельные возможности электроприводов с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения и с другими типами двигателей / М.А. Григорьев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. 2009. № 34 (167).
4. Dent, Peter C. Rare earth elements and permanent magnets // Journal of Applied Physics. 2012. Vol. 111, no. 7. P. 07A721 - 07A721-6.
5. Lipo T.A. Synchronous reluctance machines – a viable alternative for AC drive // Electric power components and Systems. 1991. Vol. 19, No. 6. P. 659-671.
6. Boglietti, A., Cavagnino, A., Pastorelli, M., Vagati, A. Experimental comparison of induction and synchronous reluctance motors performance // Conf. Rec. 40th IEEE IAS Annu. Meeting. Oct. 2005. Vol. 1. P. 474–479.
7. Boldea, I., Fu, Z., Nasar S. Performance Evaluation of Axially-Laminated Anisotropic (ALA) Rotor Reluctance Synchronous Motors // IEEE Transactions on Industry Applications. July/August, 1994. Vol. 30, no. 4. P. 977–985.
8. Lawrenson P.J. Two-speed operation of salient-pole reluctance machine // Proc. IEEE. December 1965. Vol. 112, no. 12.

ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГЕТИКИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

*Кондратьев С.П., Данилов Н.И.
УрФУ, НП СРО «Союз «Энергоэффективность», spk@npse.ru*

В России отдельными организациями осваивается очередной международный стандарт – это «Руководство по системам энергетического менеджмента (СЭнМ)» с целью:

- установить, документировать, поддерживать и улучшать свою СЭнМ;
- определить и документировать область применения и границы своей СЭнМ.

По предварительным итогам можно отметить, что при этом не учитываются в должной мере основные положения стандарта:

- использование метода энергетического анализа (ЭА) (или анализа энергопотребления);
- методология, используемая для ЭА, должна быть документирована (иначе, стандартизирована по ГОСТ Р 1.4-2004).